

MONITORING PENURUNAN MUKA TANAH AKIBAT GALIAN DAN TIMBUNAN PADA JALUR KONTRUKSI JALAN TOL SEMARANG-DEMAK SEGMENT STA 17-22 BERBASIS TEKNOLOGI UAV (*UNMANNED AERIAL VEHICLE*)

Yudo Prasetyo¹, Fauzi Janu Amarrohman², Marissa Isabella Panggabean¹

¹Lab Fotogrammetri dan Penginderaan Jauh, Departemen Teknik Geodesi,
Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Departemen Teknik Geodesi-Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof Soedarto, SH, Tembalang, Semarang-75123 Telp./Faks: (024) 736834,
e-mail: yudo.prasetyo@ft.undip.ac.id

((Diterima 19 Juni 2021, Disetujui 15 September 2021))

ABSTRAK

Kecamatan Karangtengah merupakan salah satu kecamatan yang berada di area Kabupaten Demak yang rentan terhadap peristiwa penurunan muka tanah (PMT) akibat dari endapan aluvial muda yang mendominasi di Desa Batu, Kedunguter, Dukun, Karangtengah, Grogol dan Pulosari. Terkait peristiwa PMT ini, di lokasi ini juga sedang dilakukan pembangunan jalan tol Semarang-Demak yang berada pada STA 17-22 yang akan ikut terdampak akibat adanya aktivitas galian dan timbunan dalam proses kontruksinya. Penelitian ini menggunakan metode penggunaan *unmanned aerial vehicle* (UAV) untuk mendapatkan informasi perubahan volumetrik dengan menggunakan data *digital elevation model* (DEM) yang terjadi selama 2 kali akuisisi data (Agustus dan Oktober 2020) pada wilayah pembangunan jalan tol. Metode perhitungan perubahan volumetrik tanah ini digunakan untuk melakukan kajian awal terhadap fenomena penurunan muka tanah (PMT). Hasil dari pengolahan UAV pada 30 Agustus hingga 11 Oktober tahun 2020 menunjukkan bahwa penurunan muka tanah tertinggi yang terjadi pada wilayah pembangunan jalan tol dengan terjadi pada STA 20 sebesar 7,1 cm dengan luas daerah penurunan 11,09 ha berada di Desa Karangtengah. Serta penurunan terendah sebesar 2,7 cm pada STA 18 dengan luas area penurunan 7,41 ha berada di Desa Dukun. Luasan penurunan muka tanah yang terjadi adalah 42,55 ha (74,3%) dari luasan total area pembangunan jalan tol STA 17-22 sebesar . Perubahan volume di sepanjang jalan tol pada penelitian ini menunjukkan terjadinya kenaikan volume sebesar 92.824,42 m³ dikarenakan selama bulan Agustus hingga Oktober 2020 area jalan tol masih terus melakukan penimbunan, volume ini dihitung mulai dari akuisisi foto udara UAV pertama pada tanggal 30 Agustus hingga 11 Oktober 2020.

Kata kunci : Demak, Jalan Tol, Penurunan muka tanah, UAV

ABSTRACT

Karangtengah sub-district is one of the sub-districts in Demak City that is vulnerable to soil subsidence (PMT) as a result of young alluvial deposits that dominate in Batu, Kedunguter, Dukun, Karangtengah, Grogol and Pulosari villages. Related to this land subsidence incident, at this location the construction of the Semarang-Demak toll road which is located at STA 17-22 is also being carried out. This study uses the *unmanned aerial vehicle* (UAV) method to obtain volumetric change information using *digital elevation model* (DEM) data that occurred during the research period in the toll road construction area. This method is used to conduct an initial study of the phenomenon of land subsidence (PMT). The results of UAV data processing on 30 August to 11 October 2020 showed that the land subsidence that occurred in the toll road construction area with the highest decline occurred at STA 20 of 7.1 cm with an area of 11.09 ha of subsidence located in Karangtengah Village. and the lowest decrease of 2.7 cm at STA 18 with a decrease area of 7.41 cm was in Dukun Village. The area of land subsidence that occurred was 42.55 ha (74.3%) of the total area of the STA 17-22 toll road construction. Changes in volume along the toll road in this study indicate an increase in volume of 92,824.42 m³ because during August to October 2020 the toll road area still continues to stockpile, this volume is calculated from the acquisition of the first UAV aerial photo on August 30 to October 11 2020.

Keywords : Demak, Land Subsidence, Toll Road, UAV

1. PENDAHULUAN

Kecamatan Karangtengah merupakan salah satu kecamatan yang rentan terhadap peristiwa Penurunan

muka tanah (PMT). Penurunan muka tanah yang terjadi di Kecamatan Karangtengah setiap tahunnya terjadi akibat dari endapan alluvial muda yang berada di

sepanjang pantai Demak, pantai Utara Jawa. Hal ini juga diikuti oleh peristiwa banjir rob di sejumlah wilayah yang hari demi hari semakin sering terjadi. Pada penelitian penurunan muka tanah yang dilaksanakan oleh peneliti ITB tahun 2018 yang diketuai oleh Heri Andreas mendapatkan data terjadinya penurunan muka tanah di daerah Semarang dan Demak sebesar 1 hingga 15 cm setiap tahun (Andreas dkk., 2018).

Salah satu kecamatan di Demak yang dilalui jalur jalan tol Semarang-Demak ini yaitu Kecamatan Karangtengah. Pembangunan jalan tol di kecamatan Karangtengah melewati beberapa desa yaitu Desa Batu, Wonokerto, Kedunguter, Dukun, Karangsari, Grogol, dan Pulosari. Untuk itu diperlukan studi awal terkait proses pembangunan jalan tol ini terkait dampak penurunan muka tanah. Hal ini dapat dijadikan bahan rujukan dalam mengawasi serta pemeliharaan kondisi jalan tol di masa depan. Area penelitian difokuskan pada jalur STA 17-22 dikarenakan proses pembangunan jalan tol dilakukan secara bertahap dan tidak mencakup seluruh desa terutama yang berada kecamatan Karangtengah. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan gambaran awal terkait indikasi fenomena penurunan muka tanah pada jalur kontruksi jalan tol Semarang-Demak khususnya pada jalur STA 17-22 yang didasarkan pada perhitungan perbedaan volumetrik dari data DEM multitemporal. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan melihat potensi teknologi UAV dalam proses pendekatan awal terkait pemantauan penurunan muka tanah secara cepat, sederhana dan akurat. Hal ini mengingat kegiatan kontruksi juga memerlukan pemantauan yang sifatnya rutin dan hasil analisis data juga harus cepat untuk diakses para pemangku kepentingan.

Penurunan muka tanah (PMT) adalah suatu proses gerakan pada permukaan tanah yang menyebabkan perubahan kedudukan suatu titik dimana peristiwa pergeseran titik di permukaan bumi dapat terjadi secara vertikal dan dapat juga terjadi secara horizontal (Whittaker, B. N., & Reddish, D. J., 1989) dimana peristiwa ini dapat terjadi secara lokal dan regional. Dampak atas penurunan permukaan tanah yang terakumulasi selama rentang waktu tertentu akan dapat mencapai hingga beberapa meter hingga puluhan meter (Prasetyo Y dan Subiyanto S., 2014) sehingga dampaknya dapat merusak infrastruktur perkotaan yang kemudian dapat saja menjadi gangguan terhadap stabilitas perekonomian dan kehidupan sosial di wilayah tersebut.

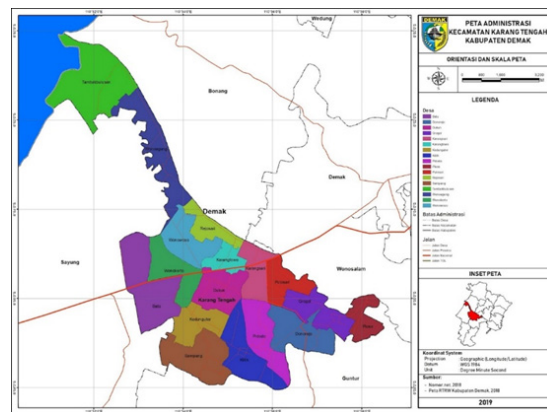
Dilihat dari sudut pandang geodesi, posisi turunnya permukaan tanah ditunjukkan melalui perubahan posisi vertikal muka tanah terhadap bidang referensi yang telah ditetapkan. Faktor-faktor yang menjadi penyebab utama penurunan muka tanah di suatu wilayah yaitu penurunan muka tanah secara alamiah disebabkan oleh proses-proses geologi seperti vulkanik dan tektonik, adanya siklus geologi serta rongga bawah permukaan akibat tanah dan sebagainya.

Proses pengambilan bahan cair dari dalam tanah secara masif seperti air tanah atau minyak bumi. merupakan indikator penyebab PMT (Bemmelen, R. W. van., 1949). Adanya aktivitas penambangan yang sangat berlebihan serta faktor terakhir yaitu terdapat banyak beban-beban berat seperti bangunan yang berada di atas tanah sehingga menyebabkan tanah mengalami kompaksi (Whittaker & Reddish, 1989).

Penelitian ini menggunakan teknologi pesawat tanpa awak (UAV) yang merupakan wahana dalam pengukuran fotogrametri yang dapat beroperasi dari jarak jauh secara semi-otonom atau otonom tanpa adanya seorang pilot di dalam wahana yang bertugas untuk mengendalikan (Eisenbeiss, H., 2009). Wahana ini dilengkapi dengan sistem pengukuran fotogrametri yang biasanya menggunakan kamera digital namun bisa juga video dalam ukuran kecil ataupun sedang, sistem kamera termal atau inframerah, sistem LiDAR atau kombinasi dari sistem tersebut.

2. DATA DAN METODOLOGI

Area penelitian berada pada kecamatan Karangtengah yang merupakan salah satu kecamatan yang ada di Kabupaten Demak. Terdapat 17 desa yang berada di Kecamatan Karangtengah. Wilayah administrasi Kecamatan Karangtengah dapat dilihat pada **Gambar 1**.



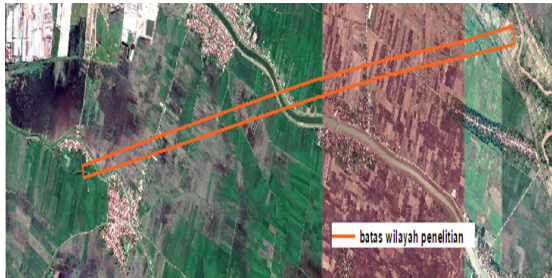
Gambar 1. Peta Administrasi Kec Karangtengah

Penelitian ini hanya mencakup Desa Batu, Wonokerto, Kedunguter, Dukun, Karangsari, Pulosari. Adapun batas wilayah pada penelitian ini hanya terbatas pada wilayah pembangunan jalan tol dari STA 17 hingga STA 22 dikarenakan STA tersebut yang sudah mulai dilakukan proses pembangunan pada saat penelitian berlangsung. Jalur STA 17-22 ini berada pada koordinat $6^{\circ}56'11.90''$ LS - $6^{\circ}55'44.04''$ LS dan $110^{\circ}33'52.81''$ BT - $110^{\circ}36'57.28''$ BT lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

Untuk dapat melaksanakan pengolahan data berbasis foto udara hasil akuisisi teknologi UAV maka dibutuhkan tahapan perencanaan jalur terbang dan proses kalibrasi kamera. Adapun proses perencanaan

jalur terbang cukup sederhana berdasarkan pada jalur pengamatan yang cenderung bersifat garis lurus seperti terlihat pada Gambar 2, sehingga hanya dilakukan pengamatan satu kali terbang pada 10 jalur terbang.

Kalibrasi kamera merupakan proses menentukan parameter internal dari kamera. Parameter ini digunakan untuk merekonstruksi berkas-berkas sinar pada saat pemotretan serta untuk mengetahui kesalahan sistematik dari kamera.



Gambar 2. Jalur Batas Antar STA 17-22

Proses kalibrasi kamera dalam aplikasi fotogrametri sangat diperlukan untuk mendapatkan akurasi data yang baik (Kavzoglu, T., 2008). Hal yang perlu diperhatikan bahwa kamera telah terkalibrasi jika jarak fokus, offset titik pusat foto, dan parameter distorsi kamera telah diketahui. Penggunaan perangkat digital terutama komputer, hanya jarak fokus yang diketahui padahal untuk mendapatkan ketelitian yang tinggi dalam fotogrametri maka semua parameter kalibrasi sebaiknya digunakan (Kavzoglu dkk., 2008). Parameter internal kamera meliputi *principal distance* (c), titik pusat fidusial foto (X_o, Y_o), distorsi lensa (k_1, k_2, k_3, k_4, p_1 dan p_2), serta distorsi akibat penyekalaan dan ketidakorthogonal antara sumbu X dan Y (b_1, b_2) (Wolf, P.R. dkk., 1993).

Untuk proses selanjutnya dilakukan tahapan pengolahan foto udara yaitu orthorektifikasi untuk menghasilkan foto Ortho sebelum dilakukan proses mozaik atas seluruh foto udara. Hasil proses mozaik seluruh akuisisi foto udara dengan overlap antar foto sebesar 70% dan sidelap 60% menggunakan peralatan UAV DJI Phantom 4 Pro dengan resolusi spasial 2 cm./pixel menjadi data dasar dalam pembentukan DEM yang akan digunakan untuk menghitung volumetrik antar *epoch*/waktu. Proses orthorektifikasi merupakan suatu proses koreksi skala antar titik dan pergeseran relief akibat adanya variasi elevasi antara wahana dan topografi (Hadi, 2007). Proses ini dilakukan untuk mengubah proyeksi citra/foto perspektif sentral menjadi proyeksi orthogonal melalui proses transformasi. Proses pertama dalam orthorektifikasi yaitu proses triangulasi yang bertujuan untuk mengoreksi orientasi sensor dan proses kedua yaitu proses koreksi terhadap pergeseran relief (Aguiar dkk., 2013).

Pada saat melakukan proses orthorektifikasi diperlukan suatu model elevasi digital dan juga titik kontrol tanah. Dari proses ini akan menghasilkan

citra/foto tegak yang memiliki skala yang sama pada seluruh bagian citra/foto tegak. Pada proses Orthorektifikasi akan digunakan titik-titik *premark* sebanyak 8 titik serta 5 titik ICP dimana GCP digunakan dalam proses orthorektifikasi dan ICP sebagai titik kontrol kualitas dari proses orthorektifikasi. Pada titik GCP nantinya akan ditambahkan *premark* agar mudah diidentifikasi pada saat akuisisi foto udara. Daftar perencanaan titik GCP dan ICP dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Koordinat Sebaran Titik GCP dan ICP

No.	Titik GCP	X (m)	Y (m)
1.	SD 4	451881,983	9233142,027
2.	BM 7A	452669,323	9233238,387
3.	SD 11A	455521,383	9233783,055
4.	SD 15A	457466,668	9234010,856
5.	TM 1	453597,721	9233638,314
6.	TM 2	454758,500	9233807,584
7.	TM 3	455967,907	9233959,181
8.	TM 4	457317,833	9234116,724
9.	ICP 1	457538,773	9234116,571
10.	ICP 2	453270,842	9233512,993
11.	ICP 3	454495,194	9233745,228
12.	ICP 4	452643,547	9233323391
13.	ICP 5	452112,095	9233185,716

Adapun sebaran titik-titik GCP dan ICP dapat dilihat pada Gambar 3.



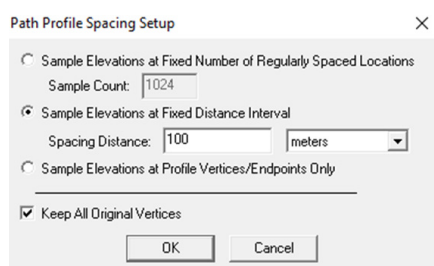
Gambar 3. Sebaran Titik-Titik GCP dan ICP

Pengolahan DEM pada data foto udara terdiri dari dua tahap yaitu pengolahan foto akuisisi kala pertama dan akuisisi kala kedua. Jumlah foto pada akuisisi kala pertama 1245 foto dan akuisisi kala kedua dengan jumlah yang lebih sedikit yaitu 877 foto karena cakupan wilayah lebih diperkecil agar terfokus ke area jalan tol saja sehingga dapat mengurangi waktu pemrosesan data. Data foto hasil akuisisi dapat langsung dimasukkan ke perangkat lunak Agisoft Photoscan. Foto harus sudah melalui proses seleksi terlebih dahulu. Adapun jumlah foto yang tidak dapat dilakukan pemrosesan lebih lanjut pada kala pertama sebanyak 17 buah dan kala kedua sebanyak 12 buah. Pada pengambilan foto harus benar-benar yang melakukan pemotretan secara vertikal bukan dengan sudut menyamping. Proses ini merupakan tahap kedua dalam

pemrosesan dimana pada saat foto dimasukkan dapat secara otomatis terekonstruksi urutan foto sesuai posisi jalur terbang pada saat pengambilan di lapangan. Pemilihan *accuracy* serta *key point* dan *tie point limit* sangat mempengaruhi waktu yang diperlukan saat pemrosesan (Aguilar, M.A. dkk., 2013). Semakin tinggi akurasi dan limit yang dibuat maka waktu pemrosesan dapat berjalan sangat lama. Pada penelitian ini menggunakan *accuracy high* karena penelitian ingin mendapatkan ketelitian dari akurasi. Pemilihan *key point limit* 40.000 dan *tie point limit* 4.000. Artinya pada setiap 40.000 titik terdapat 4.000 titik yang digunakan sebagai *tie point* (titik ikat) dalam pembentukan DEM.

Langkah selanjutnya adalah perhitungan volumetrik tanah antar kala waktu dari hasil pembentukan DEM sebelumnya. Perubahan volume yang terdapat pada dua DEM yaitu dengan melakukan perhitungan *cut and fill* pada perangkat lunak ArcGIS sehingga didapatkan nilai perubahan *cut* dan *fill* pada kedua DEM (Setiawan, T., 2016). Kemudian dapat divisualisasikan untuk melihat perbandingan dari hasil penurunan pada pengolahan DInSAR dengan hasil *cut* dan *fill* yang terjadi di sepanjang jalur jalan tol.

Nilai perubahan yang lebih nyata dilakukan dengan perhitungan perubahan elevasi pada DEM kala I dan II. Hal ini dilakukan dengan membuat 3D *path profile* pada DEM di sepanjang area timbunan jalan tol dan juga pada jalan akses ke timbunan di setiap STA dengan jarak antar titik 100 meter. Dari pembagian ini akan dilihat perubahan elevasi yang terjadi pada area timbunan dan jalan akses. Pengaturan tersebut dilakukan pada *path profile spacing setup*, setelah itu data elevasi dapat langsung disimpan dalam format csv seperti dapat dilihat pada Gambar 4



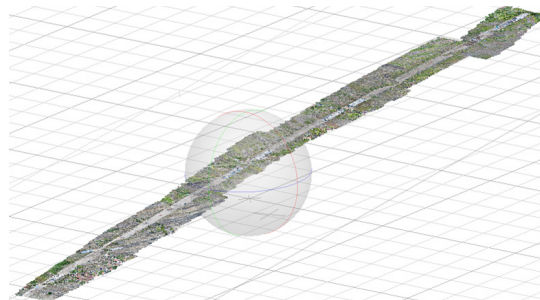
Gambar 4. Pengaturan Profil Muka Tanah Untuk Perhitungan *Cut and Fill*

Untuk melihat kualitas dari data DEM yang digunakan untuk mendapatkan perubahan volumetrik maka perlu dilakukan validasi. Metode validasi yang digunakan untuk menganalisis kualitas DEM yang terbentuk yaitu membandingkan data *cross section waterpass* dengan *cross section* dari DEM. Data *cross section* yang digunakan merupakan data pengukuran lapangan dari PT.PP yang berada pada STA 21.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil perhitungan koordinat titik-titik GCP dan ICP dari hasil pengukuran GNSS diperoleh koordinat definitif, standar deviasi serta RMS untuk setiap titik-titik tersebut. Hasil tersebut menjadi kontrol kualitas penetapan titik-titik GCP dan dimana secara keseluruhan titik-titik tersebut telah memenuhi syarat untuk proses Ortorektifikasi. Hasil simpangan baku atas pengukuran titik GCP deviasi terendah terletak pada titik TM 3 dengan standar deviasi X dan Y secara berurutan sebesar 0,005 m dan 0,007 m. Kemudian nilai deviasi tertinggi berada pada titik TM 4 yang memiliki standar deviasi secara berurutan sebesar 0,008 m dan 0,011 m dan tidak ada perbedaan yang signifikan dan dinyatakan layak untuk digunakan sebagai *Premark*.

Hasil dari proses *alignment* dari proses orthofoto diperoleh resolusi spasial sebesar 2,8 cm/piksel dengan tinggi terbang rata-rata dari keseluruhan jalur adalah 118 meter. Pada penelitian ini jumlah foto yang dihasilkan pada kala pertama dan kedua memiliki jumlah yang berbeda dimana pada kala pertama menghasilkan 1045 foto dan kala kedua menghasilkan 877 foto yang dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil Aligment Foto Udara STA 17-22

Pembentukan DEM dihasilkan dari data *dense cloud* dengan klasifikasi ground saja. Hasil dari pengolahan ini sudah menghasilkan kenampakan 3D yang sesuai dengan yang ada di lapangan sesuai hasil validasi. Visualisasi dari kedua DEM yaitu DEM kala pertama (30 Agustus 2020) dan kala kedua (11 Oktober 2020) dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 6. Model DEM Kala 1



Gambar 7. Model DEM Kala I

Proses selanjutnya dilakukan pengecekan ketinggian elevasi kedua DEM dengan elevasi GNSS untuk mengetahui ketelitian vertikal yang dihasilkan dari kedua DEM. Data hasil pembentukan DEM kala I dan II dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Perbandingan GCP dan GPS pada DEM kala I

GCP	Elevasi GPS (m)	DEM kala I (m)	Dz (m)	dz ² (m)
SD 4	1,182	1,151	-0,031	0,0009
BM 7A	1,51	1,526	0,016	0,0002
TM 1	1,327	1,372	0,045	0,0020
TM 2	1,629	1,657	0,028	0,0007
SD 11A	0,209	1,024	0,815	0,6642
TM 3	2,161	2,224	0,063	0,0039
TM 4	4,512	4,702	0,190	0,0361
SD 15A	2,743	2,971	0,228	0,0519
Jumlah				0,7603
Rata-rata				0,0950
RMSe				0,3082
LE90				0,5086

Tabel 3. Perbandingan GCP dan GPS pada DEM kala II

GCP	Elevasi GPS (m)	DEM kala II (m)	dz (m)	dz ² (m)
SD 4	1,182	1,219	0,037	0,0013
BM 7A	1,51	1,452	-0,058	0,0033
TM 1	1,327	1,358	0,031	0,0009
TM 2	1,629	1,599	-0,03	0,0009
SD 11A	0,209	0,017	-0,192	0,0368
TM 3	2,161	2,195	0,034	0,0011
TM 4	4,512	4,483	-0,029	0,0008
SD 15A	2,743	2,833	0,09	0,0081
Jumlah				0,0535
Rata-rata				0,0066
RMSe				0,0818
LE90				0,1349

Berdasarkan hasil pengolahan DEM kemudian dilakukan pengecekan hasil elevasi GCP pada DEM dari kala 1 dan 2 yang dibandingkan dengan elevasi GNSS untuk mengetahui nilai RMSe hasil pengolahan DEM tersebut. Dari perhitungan selisih elevasi DEM kala 1 dengan GNSS dan DEM kala 2 dengan GNSS terlihat bahwa terjadi perbedaan nilai ketinggian nilai GCP pada DEM model dan hasil GNSS. Hasil RMSe menunjukkan nilai 30 cm dan 8,1 cm pada DEM kala pertama dan kedua secara berurutan. Kemudian dilakukan pengujian menggunakan Peraturan kepala BIG No.6 tahun 2018 dihasilkan pada DEM kala I dan DEM kala II memenuhi standar ketelitian peta dasar dengan ketelitian vertikal kelas 1 dengan kelas peta 1:1.000 yang dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Untuk perhitungan volume dilakukan dengan menghitung keseluruhan dari volume DEM kala I dan

kala II untuk mendapatkan nilai perubahan antara kedua DEM. Untuk mengetahui perubahan volume di sepanjang area maka dilakukan perhitungan volume pada DEM kala I dan DEM kala II dengan membuat *base height* dari kedua DEM yaitu 1 meter dikarenakan elevasi 1 meter merupakan elevasi minimum dari kedua DEM yang dapat dilihat dari tabel IV-12 serta hasil *cut and fill* pada DEM kala I dan kala II dari Tabel 6 dan Tabel 7.

Tabel 4. Hasil Uji CE90

Orthopoto	RMSEhorizontal (m)	CE90 (m)	Skala peta	Kelas peta
Kala I	0,0662	0,1005	1 : 1000	I
Kala II	0,0098	0,0149	1 : 1000	I

Tabel 5. Hasil Uji LE90

Orthopoto	RMSEvertikal(m)	LE90 (m)	Skala peta	Kelas peta
Kala I	0,0263	0,0433	1 : 1000	I
Kala II	0,00382	0,0063	1 : 1000	I

Tabel 6. Hasil perhitungan volume Kala I

Hasil Perhitungan Volume Kala I	
Total volume	834005,03 m ³
Cut volume	842246,90 m ³
Cut 2D Surface Area	371751 m ²
Fill volume	8241,87 m ³
Fill 2D SurfaceArea	14917 m ²

Tabel 7. Hasil perhitungan volume Kala II

Hasil Perhitungan Volume Kala II	
Total volume	926263,28 m ³
Cut volume	935449,84 m ³
Cut 2D Surface Area	366622 m ²
Fill volume	9186,56 m ³
Fill 2D SurfaceArea	20064 m ²

Hasil perhitungan volume antar kala waktu dilakukan pengujian berdasarkan indikator LE (Linier Error) 90 untuk ketelitian vertical dan CE (Circular Error) 90 untuk ketelitian horisontal dalam penetapan ketelitian pemetaan berdasarkan Perka BIG No. 15 Tahun 2004.

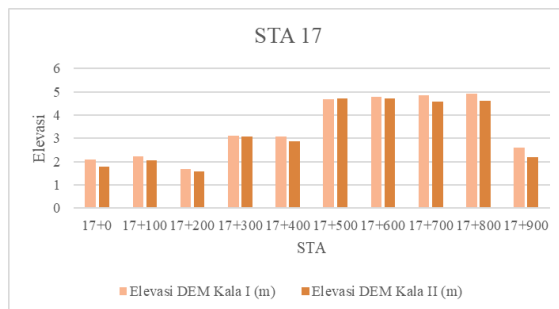
Dari perhitungan kedua *surface* ini menghasilkan data *cut and fill* yang nantinya akan dilakukan perhitungan selisih antara DEM kala I dan DEM kala II yang akan digunakan sebagai data deformasi. Pada data cut digunakan sebagai data penurunan muka tanah dan data fill sebagai data kenaikan muka tanah. Dari perhitungan menggunakan perangkat lunak Global Mapper didapatkan volume perubahan *cut* pada DEM kala I dan II sebesar 93635,39 m³ dan perubahan volume *fill* pada DEM kala I dan II sebesar 186459,81 m³. Kemudian volume *fill* dikurangi dengan volume *cut* untuk melihat volume perubahan dari kedua DEM. Nilai perubahan volume merupakan nilai positif yang menunjukkan bahwa terjadi kenaikan muka tanah sebesar 92.824,42 m³ selama 40 hari di area pembangunan jalan tol. Hal ini dikarenakan selama bulan Agustus hingga Oktober pada area jalan tol masih terus dilakukan kegiatan penimbunan dimana luas perubahan wilayah *cut* (penurunan) sebesar 182.876,5

m² dan luas wilayah *fill* (kenaikan) sebesar 205.797,3 m².

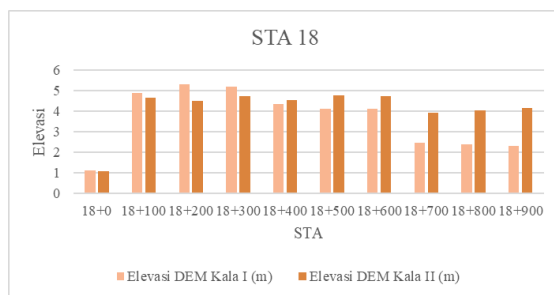
Untuk hasil perubahan volumetrik dari masing-masing ruas STA 17-22 dapat dilihat pada **Gambar 8** hingga **Gambar 13** serta perubahan elevasi pada masing-masing titik STA 17-22 dapat dilihat pada **Tabel 8**. Data elevasi DEM menunjukkan bahwa penurunan elevasi tertinggi dari DEM kala I dengan DEM kala II terjadi pada STA 20 dengan penurunan sebesar 1,43 m yang berada pada akses jalan.

Tabel 8. Perubahan Elevasi timbunan STA17-22

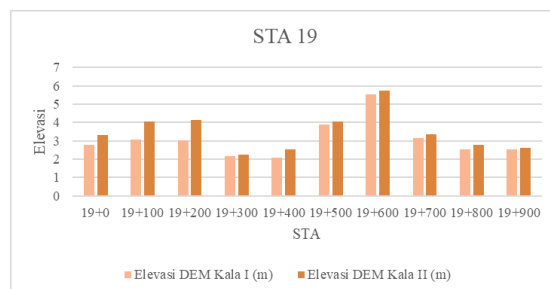
Titik STA	Elevasi DEM (m)		Perubahan Elevasi (m)	Keterangan
	Kala I (Agustus)	Kala II (Oktober)		
17+0	2,077	1,766	-0,31	lintasan jembatan
18+0	1,13	1,10	-0,03	sawah
19+0	2,79	3,32	0,53	timbunan
20+0	4,438	4,373	-0,06	galian
21+0	2,19	1,92	-0,27	galian
22+0	4,751	6,599	1,84	timbunan



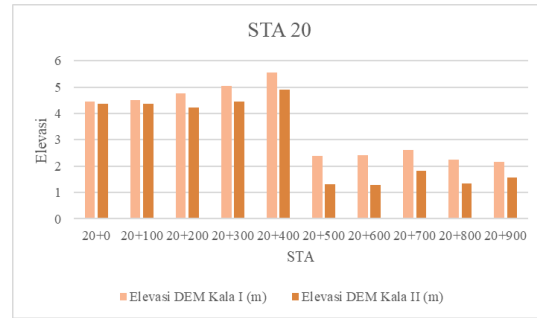
Gambar 8. Perubahan Elevasi STA 17



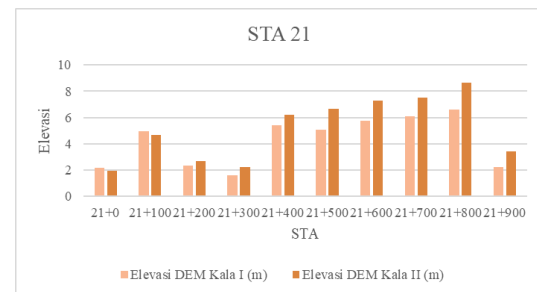
Gambar 9. Perubahan Elevasi STA 18



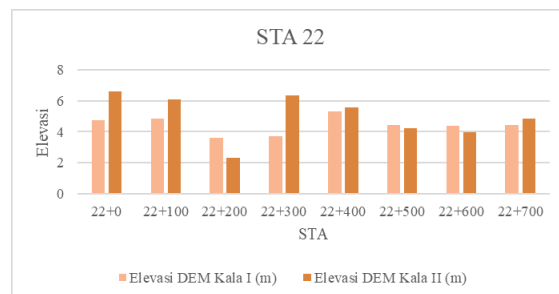
Gambar 10. Perubahan Elevasi STA 19



Gambar 11. Perubahan Elevasi STA 20



Gambar 12. Perubahan Elevasi STA 21



Gambar 13. Perubahan Elevasi STA 22

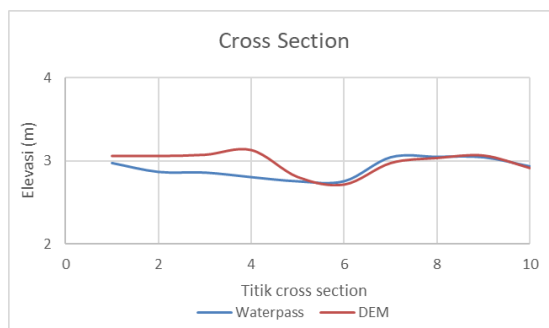
Berdasarkan hasil perubahan volume *cut and fill* kedua DEM dimana pada warna biru menunjukkan indikasi adanya proses *cut* (penurunan muka tanah) dan warna merah menunjukkan indikasi adanya proses *fill* (kenaikan muka tanah) yang terlihat pada **Gambar 14**. Melalui hasil tersebut terlihat bahwa hasil yang terbentuk antara keduanya memiliki pola yang sama khususnya pada STA 20 dimana memang terlihat bahwa perubahan luas wilayah *cut* tertinggi juga terjadi pada STA 20. Dari hasil tersebut dapat dikatakan bahwa pada dasarnya memang terjadi penurunan di sepanjang jalur jalan tol walau dalam perubahan volume DEM terjadi penambahan data *fill* dikarenakan area masih terus dilakukan kegiatan penimbunan.

Proses selanjutnya adalah melakukan proses validasi hasil perhitungan data dilakukan menggunakan data *cross section* yang diambil pada tanggal 31 Agustus pada STA 21 oleh surveyor dari PT.PP. Pengambilan yang hanya tertuju pada STA 21 dikarenakan data pengukuran *cross section* yang dilakukan bersamaan dengan akuisisi foto udara terletak

pada STA 21. Penggunaan data *cross section* pada STA yang berbeda waktu tidak dilakukan untuk menghindari perbedaan yang signifikan antara data *cross section* dan DEM foto udara dikarenakan wilayah masih terus mengalami pemampatan. Pengukuran *cross section* ini dilakukan dengan menggunakan *waterpass* pada 10 titik yang dapat dilihat secara rinci pada **Gambar 15**.



Gambar 14. Hasil *Cut and Fill* DEM kala I dan II



Gambar 15. Hasil Perbandingan *Cross Sections* dan DEM

Melalui grafik perbandingan *cross section* antara data *waterpass* dan DEM foto udara terlihat bahwa dari titik 0 hingga titik 5 terdapat perbedaan yang cukup signifikan. Namun pada titik 6 hingga 9 terlihat ketinggian sudah menunjukkan komparasi yang relatif sama. Hal ini disebabkan pertampalan yang terjadi antar foto udara tidak terlalu baik sehingga menimbulkan kesalahan sistematis pada saat pembentukan permukaan DEM.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Adapun kesimpulan dan saran atas penelitian ini antara lain:

1. Hasil analisis terhadap perubahan volumetrik menunjukkan terjadinya kenaikan volume di sepanjang area pembangunan jalan tol sebesar 92.824,42 m³ dikarenakan selama bulan Agustus hingga Oktober area jalan tol masih terus melakukan penimbunan. Volume ini dihitung mulai dari akuisisi foto udara UAV pertama pada tanggal

30 Agustus hingga 11 Oktober 2020. Visualisasi perubahan volume pada STA 17 terjadi penurunan, STA 18 terjadi kenaikan pada area timbunan dan penurunan pada area jalan, STA 19 terjadi kenaikan pada area jembatan dan penurunan pada area timbunan, STA 20 terjadi penurunan, STA 21 terjadi kenaikan dan penurunan pada area timbunan, dan STA 22 mengalami kenaikan.

2. Hasil perubahan volumetrik terbesar pada DEM kala I dan II sebagian besar terlihat pada STA 20 menunjukkan bahwa hasil yang terbentuk antara keduanya memiliki pola yang sama dimana wilayah yang mengalami perubahan nilai elevasi (penurunan) tertinggi pada DEM kala I dan II juga terjadi pada STA 20 sebesar 1,43 m. Hasil validasi geometri kualitas data DEM pembentuk volume area jalan tol dengan menggunakan data *cross section waterpass* untuk ketelitian vertikal didapatkan *RMS error* sebesar 0,143 meter, diuji dengan Perka BIG didapatkan nilai LE90 yaitu 0,217 sehingga DEM yang dihasilkan memenuhi standar ketelitian peta dasar dengan ketelitian vertikal kelas 1 untuk peta skala 1:1.000.
3. Sebaiknya dalam penelitian lanjutan perlu diperhatikan beberapa hal antara lain: penambahan sebaran titik-titik Pre-mark yang diukur dengan metode GNSS yang lebih rapat agar diperoleh hasil Orthorektifikasi yang akurat dan presisi serta adanya kombinasi dengan metode lainnya seperti penerapan teknologi DInSAR dan pengukuran teristris yang lebih akura.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan terima kasih kepada staf dan anggota Laboratorium Fotogrammetri dan Penginderaan Jauh Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang atas bantuan fasilitas peralatan akuisisi dan pengolahan data. Serta kepada pihak Kementerian PU-BPJT dan PT. PPSD yang telah memfasilitasi dan memberikan ijin akses penelitian pada proyek konstruksi jalan tol Semarang-Demak STA 17-22.

DAFTAR PUSTAKA

- Aguilar, M. A., Saldaña, M. del M., & Aguilar, F. J. (2013). Assessing geometric accuracy of the orthorectification process from GeoEye-1 and WorldView-2 panchromatic images. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 21, 427–435. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2012.06.004>
- Andreas, H., Abidin, H. Z., Sarsito, D. A., & Pradipta, D. (2018). Insight Analysis On Dyke Protection Against Land Subsidence And The Sea Level

- Rise Around Northern Coast Of Java (Pantura) Indonesia. *Geopanning: Journal of Geomatics and Planning*, 5(1), 101. <https://doi.org/10.14710/geopanning.5.1.101-114>
- Bemmelen, R. W. van. (1949). The geology of Indonesia. Govt. Print. Off.; sole agents, Nijhoff. <http://catalog.hathitrust.org/api/volumes/oclc/1517019.html>
- Eisenbeiss, H. (2009). UAV photogrammetry (hlm. 1 Band) [ETH Zurich; Application/pdf]. <https://doi.org/10.3929/ETHZ-A-005939264>
- Hadi, B. (2007). *Dasar-dasar Fotogrametri*. Gadjah Mada Press: Yogyakarta.
- Ignjatović Stupar, D., Rošer, J., & Vulić, M. (2020). Investigation of Unmanned Aerial Vehicles-Based Photogrammetry for Large Mine Subsidence Monitoring. *Minerals*, 10(2), 196. <https://doi.org/10.3390/min10020196>
- Prasetyo Y dan Subiyanto S., 2014. (2017). *Jurnal Geodesi Undip*. 6, 8. Penurunan, S., Tanah, M., & Subsidence, L. (2014). Menggunakan Metode Permanent Scatterer Interferometric Synthetic Aperture Radar (PS-INSAR) Di Kawasan Kota Cimahi—Jawa Barat. 35(2), 78–85.
- Kavzoglu, T. (2008). *Calibration of a Digital Single Lens Reflex (SLR) Camera Using Artificial Neural Networks*. Elsevier: New York.
- Razi, P. (2020). Land Deformation Monitoring Using D-Insar Technique During Lombok Earthquake Observed By Sentinel-1A/B. *International Journal of GEOMATE*, 19(73). <https://doi.org/10.21660/2020.73.37542>
- Sarychikhina, O., Glowacka, E., Mellors, R., & Vidal, F. S. (2011). Land subsidence in the Cerro Prieto Geothermal Field, Baja California, Mexico, from 1994 to 2005. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 204(1–4), 76–90. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2011.03.004>
- Setiawan, T. (2016). Analisis Deformasi Menggunakan metode Pengamatan 3 Dimensi Unmanned Aerial Vehicle (UAV). 2016, 5, 9.
- Subiyanto, S. (2007). *Konsep Dasar Pemetaan Fotogrametri*. Semarang.
- Templi, K. (1991). DTM and Differential Modelling. ISPRS and OEEPE joint workshop on updating digital data by photogrammetric methods (hal. 193-200).
- Whittaker, B. N., & Reddish, D. J. (1989). *Subsidence: Occurrence, Prediction and Control*.
- Wolf, P. R., Gunadi, Gunawan, T., & Zuhamen. (1993). *Elemen fotogrametri: Dengan interpretasi foto udara dan penginderaan jauh*. Gadjah Mada University Press.